

ハイポイドギヤのかみあい解析とそれに基づく歯切法に関する研究

著者	伊藤 紀男
号	850
発行年	1986
URL	http://hdl.handle.net/10097/11799

氏 名 伊 藤 紀 男

授 与 学 位 工 学 博 士

学位授与年月日 昭和 61 年 7 月 9 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 5 条第 2 項

最 終 学 歴 昭和 41 年 3 月

富山大学文理学部理学科（物理）卒業

学 位 論 文 題 目 ハイポイドギヤのかみあい解析とそれに基づく歯切
法に関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 渡邊 眞 東北大学教授 加藤 正名
東北大学教授 江村 超 東北大学助教授 島地 重幸

論 文 内 容 要 旨

緒 論

ハイポイドギヤは、食違い軸の間に運動を伝達する円錐状の歯車対のことである。その名称の由来は、食違い軸歯車のピッチ面をハイパボロイド (hyper boloid) と考えていた時代に名付けられたと言われている。

ハイポイドギヤが本格的な発展を遂げたのは、1925年米国グリーンソン社によって、点接触のものが開発され、自動車の動力伝達用歯車として採用されてからである。現在では、自動車用ハイポイドギヤのほとんどが、グリーンソン社の製造設備を使って歯切りされ、工業的に大きな役割を果たしている。

さて、ハイポイドギヤの長い歴史の中で、ハイポイドギヤが自動車用歯車として利用されるようになってからは、静かな歯車を作るための多くの技術開発がなされてきた。例えば、設計の面では、かみあい率向上のために歯車諸元の改善がなされ、生産技術的には、歯切り方法や焼入後のラッピング方法の改善がなされてきた。このような改善を経て、今日では、その量産性や加工精度は著しく向上してきた。しかし、その反面において、いまなお、特別に訓練された熟練技術者を必要とし、それらの人たちの慎重な作業と細心の品質管理によって、初めて品質の良いハイポイドギヤが得られるという昔ながらの工程も、まだ、依然として残されたままである。

ところが、近年になって、自動車内の静粛性の要求が一段と厳しくなる一方で、ハイポイドギヤ

の需要範囲の拡大と多様化に伴い、その開発のスピードアップ化がますます強く望まれるようになってきた。このことは勢い、これまでのような作業者の熟練や手間をかけたノウハウに頼ることなく、良質のハイポイドギヤを安定的に製造することの重要性を示したことになる。しかし、それを実現するためには、いくつかの困難な問題を解決しなければならない。

まず、第一の問題点は、グリーンソン式の歯切法では共役な歯面の歯切りができないことである。

正面フライス型環状カッタを用いた勾配歯の歯切りでは、カッタは歯切りされる歯車の歯底円錐面にそって切削運動を行う。そのため、ピニオンとギヤのカッタ軸は互いに傾きをもち、カッタの直接切刃が描く二つの円錐面の凹面と凸面を、重ね合わせることはできない。よって、二つの工具は互いに独立したものとなる。

第二の問題点は、歯面の振れが考慮されていないことである。

歯車のかみあいにおける歯面の接触条件¹⁾は、考察点における二つの歯面の共通法線ベクトルと、その点における歯車間の相対速度ベクトルが直交することである。しかし、グリーンソン方式による歯切りの場合には、考察点における上記接触条件だけでは、微小回転後の新しい接触点で、二つの歯面の法線ベクトルが一致するという保証はない。特に、ピニオンのように大きく振れた歯面に対しては、初めの考察点から歯すじ方向にわずかに離れただけで、接触条件は満足されない。そこで、微小回転後においても、二つの歯面が接触条件を満足するには、歯面の振れに関する条件、すなわち、歯面の測地的振率に関する条件を考慮しなければならない。

第三の問題点は、歯面の表示法が十分ではないことである。

ハイポイドギヤの歯面は、これまで主として、歯面の歯すじ方向の法曲率によって表されてきた。ギヤ歯面のように円錐面に近い曲面では、このような表し方でも十分といえるが、ピニオン歯面のように大きく振れた歯面に対しては、必ずしも十分とはいえない。特に、ハイポイドギヤにとって極めて重要な意味をもつ歯当りは、歯面と歯面との接触痕であり、これをあらかじめ計算によって予測するときは、歯面をこれまでより正確な方法で表示する必要がある。

以上のようないくつかの問題点に対し、本論文は、つぎの考えに基づいて研究を進めた。

まず、第一、第二の問題点に対しては、新しいかみあい論を展開して、その解決を試みた。すなわち、考察点における歯面の接触条件として、これまでのような二つの歯面間の歯すじ方向の法曲率だけでなく、測地的振率の間の関係式をも導き出し、考察点の近傍で、より円滑な定回転比のかみあい運動がなされるようにした。

つぎに、第三の問題点に対しては、歯面を考察点の近傍で三次曲面、すなわち、歯面を無限級数の代数式で展開したとき、その級数の三次の項の係数までを明らかにした曲面によって表し、歯面の接触やかみあい運動を論じた。それにより、歯面に関して新たに四つの情報を得ることができ、あらかじめ歯面の中央に生じる歯当りを、計算によって正確に予測することが可能となった。

このようにして、本論文は、これまでのような現場の熟練技術者の経験と勘に頼った、非能率的なハイポイドギヤの歯切法に対し、より厳密なかみあい論と歯面の表示法により、精密な歯切り方式を確立するとともに、あらかじめ正確な歯当りパターンを計算機によって求め、迅速かつ容易に実際の歯切りができることを目的としたものである。

第1章 ハイポイドギヤのピッチ面

これまであまり明確にされていなかったハイポイドギヤのピッチ面を，実用的な観点から定義する。本論文で定義するピッチ面は，一対のかみあう歯車の歯の歯たけを無限に小さくし，その歯数を無限に大きくしていった極限での歯車そのものと定める。そのとき，歯車の歯は互いに接触する回転面となる。このように定義されたピッチ面は，食違い軸歯車の運動学的ピッチ面とは異なるものとなる。歯すじはピッチ面と歯面との交線であるから，歯を無限に小さくしていった極限においても，歯車は歯すじにそって引き続き接触する。したがって，一対のピッチ面は，歯すじの接触点の軌跡として，空間に一つの接触線をもつ。この接触線をピッチ線と呼ぶ。さらに，歯車はピッチ面上に歯面を植付けたものであるが，それら歯が歯面中央の考察点で，円滑な噛みあいをなすための条件式を導く。考察点は歯幅のほぼ中央で，噛みあいのときに生じる歯面間の瞬間接触線とピッチ線との交点を選び，その点をピッチ点と呼ぶ。ピッチ点では，歯面の接触条件 ($n \cdot w = 0$) を満足し，かつ歯車の回転とともに引き続きピッチ線にそって歯面が接触する条件——これを噛みあい条件と定める——として，歯面の歯すじ方向の法曲率のほかに，新しく測地的振率の間の関係式を導く。

つぎに，ピッチ面の形状は，ピッチ線をそれぞれの歯車軸のまわりに回転して得られる回転面であるが，回転面のままでは計算上の取り扱いが複雑となる。そこで，考察点でピッチ面に内接，または外接する円錐を考え，その円錐をピッチ円錐と呼んで，ピッチ面を空間的に位置づけることに利用する。ハイポイドギヤのピッチ面はもともと歯の両側面で異なるが，ある条件の下では共通となることを示し，ハイポイドギヤを設計する上で，ピッチ面の取り扱いを容易にする。

第2章 ハイポイドギヤ歯面の線接触

ハイポイドギヤの歯当りを，あらかじめ計算によって求めるために，歯面をこれまでより高次の曲面によって表示する方法について述べ，二曲面の線接触条件と，それをギヤ歯面に適用した場合の関係について述べる。

まず，歯面を考察点の近傍で三次曲面で表す方法について述べ，三次式で表された曲面上の曲線に関し，曲線方向の曲面の法曲率や測地的振率について考える。さらに，一つの曲線が二つの三次曲面の接触線となるための条件について考察し，三次曲面を表す代数式の二次および三次の項の係数——これを二次および三次の歯面係数と呼ぶ——や接触線に関する曲面の測地的曲率などの間の関係式を導く。これらの関係式は，二つの三次曲面が，考察点の近傍において，線接触するための微分幾何学上の条件となる。

つぎに，三次曲面の線接触をギヤ円錐歯面に適用する。線接触の例としては，ギヤ円錐歯面と曲面，あるいは回転面との接触を取り上げ，その接触の様子を等隙間線図（接触パターン）で描く。これは線接触するギヤ円錐歯面や曲面の三次の歯面係数が，接触パターンにどのように影響を与えるかについて調べたものである。この結果は，実際に得られる歯当りの形状，およびその変化の要因が，歯面の各要素とどのような関係をもつかを推定する上で重要な手がかりとなる。

第3章 ハイポイドギヤ歯面の線接触かみあい

三次曲面で表された一対の歯面が、線接触のかみあい運動をなすとき、歯面上に現れる瞬間接触線や歯すじについて考察し、相手歯面の決定方法について述べる。

まず、歯車のかみあい運動において、歯面上の瞬間接触線が考察点を通るとき、二つの歯面はその接触線にそって線接触する。そのとき、二つの歯面は前章で求めた線接触の条件を満足することになる。また、かみあい運動は歯面上の歯すじにそって引き続き行われるので、三次式で表された歯面では、歯すじにそう法曲率と測地的捩率の変化率を計算することができる。これはかみあい運動をなす三次曲面の三次の歯面係数を決定するのに必要な関係となる。かくして、かみあい運動をなす二歯面の一方が与えられると、相手歯面の二次および三次の歯面係数が定められることになる。

第4章 創成用第三の歯車

第三の歯車というのは、ハイポイドギヤを創成加工するための冠歯車のようなもので、そのピッチ円錐は歯切りオフセット、軸角、回転比によって決定される。その際、ピニオンは、ギヤとかみあう基本的なピッチ面とは別に、第三の歯車とかみあう歯切りピッチ面なる概念を導入することができる。それによって、歯切りの自由度は増し、ギヤが成形歯切りによってその歯面が定められると、それとかみあうピニオン歯面は三次曲面として、第三の歯車によって創成できることを示す。

第5章 理論的歯当りパターンとその実験的考察

まず、ハイポイドギヤの歯当りパターンを、理論計算によって求めるための手順を示す。これは歯切りを計算機によってシミュレートする際、歯切り条件である未知変数が多いため、計算を能率的に行うためのものである。つぎに、ハイポイドギヤの歯切りで重要な課題となっているバイアス歯当りについて、その原因と修正法について述べる。さらに、数値計算によって、創成軸角を変化させた場合の歯当りパターンを描き、創成軸角の変化によって歯当りがどのように変化するかを示す。最後に、計算によって得られた歯当りパターンを歯切り実験によって実証する。あらかじめ歯切りに必要なギヤとピニオンの正確な諸元と、段取りに必要な計算を行う。その結果、実験によって得られた歯当りは、計算によって予測されたものとよく適合し、かつ優れた歯当りが得られることを示す。

結 論

以上を要約すれば、本論文は、ハイポイドギヤの歯切りに関し、従来の二次曲面論に基づく歯切り理論では、あらかじめ正確な歯当りを予測することは不可能であり、また、十分な歯当り解析ができないことを示した。そして、三次曲面を導入した新しい歯車のかみあい理論を展開することにより、定回転比で、点接触のかみあいをするハイポイドギヤの精密歯切りについて、理論と実験の両面より検討を加えた。その結果、ハイポイドギヤの歯当りに関する見通しを格段に向上させるとともに、優れた歯当りを得るための精密な歯切法について、一つの理論的な指針を与えることに成功した。

参 考 文 献

- 1) 酒井高男，機論，21-102（昭30），164.

審 査 結 果 の 要 旨

ハイポイドギヤは、互いに食違う2軸の間に運動を伝達する歯車のひとつで、自動車の動力伝達用として広く使用され、工業的に大きな役割を果たしている。自動車に用いられるハイポイドギヤは、勾配歯と呼ばれる形式のもので、そのほとんどは米国：グリーンソン社の歯切盤を用いて、グリーンソン方式と呼ばれる近似歯切方式により歯切りされている。この歯切方式では、試行錯誤の方法によって、工作機械の工具の姿勢や動きを微妙にかえて、歯当りを最良にする作業が必要であり、しかもこの作業に何ヶ月も要するのが現状である。

本論文は、ハイポイドギヤのかみあいの解析を精密に行うことにより、グリーンソン社歯切盤を用いて、目標とする歯当りを持つハイポイドギヤを得る歯切方式を理論的に確立することを目的としたものであり、全文は緒論、本論5章および結論より成る。

緒論では、本研究の位置づけと展開の方法について述べている。

第1章では、ハイポイドギヤのピッチ面を実用的観点から定義し、これに基づいて、歯車の形状や運動を記述し、さらに、歯面の法曲率や測地的振率の関係などを新たに導いている。この振率は、従来の歯形理論では等閑視されてきたものであるが、歯当り解析では重要な役割を果たすことになる。

第2章では、歯当りの取扱法について述べている。歯面と相手歯面が包絡する仮想曲面との接触点近傍の隙間を用いて歯当りを定義し、隙間を級数展開したときの三次の係数が歯当りパターンに及ぼす影響について論じ、この影響が大きいことを示している。

第3章では、ハイポイドギヤの一方の歯面を与えたとき、これの包絡する他方歯車の仮想曲面を求める関係式を三次の係数まで求めている。これは、歯車歯形理論における優れた成果である。

第4章では、勾配歯歯車の歯切方式を論じている。この場合、ギヤ歯面が与えられると、それとかみあうピニオン歯面は、ギヤとは異なる第三の刃物歯車によって創成しなければならない。本章では、前章までの成果を勾配歯歯切りに適用し、目標とする歯当りと、刃物歯車の形状や運動との関係を導いている。これにより、工具形状とその姿勢を試行錯誤によらずに定めることが、はじめて可能となった。

第5章では、前章までの結果に基づき、自動車用ハイポイドギヤを設計・歯切りし、歯当りパターンを求め、これが理論によるパターンとよく一致することを確認し、理論の有用性を実証している。

結論では、本論で得られた結果をまとめている。

以上要するに本論文は、ハイポイドギヤのかみあいと歯切りに関する運動学的関係を精密に解析することにより、良好な歯当りを持つ歯車の歯切方式を理論的に確立したもので、歯車工学ならびに精密工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。